

66376-279-7

#2



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:	)	PATENT
Herbert Thanner et al.	)	Group Art Unit: Unknown
Serial No. To be assigned	)	Examiner: Unknown
Filed: March 4, 2002	)	
PIEZOELECTRIC SINGLE CRYSTAL ELEMENT	)	

\* \* \* \* \*  
SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Washington, D.C.  
March 4, 2002

Honorable Director of Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

The applicants enclose a certified copy of their Austrian Patent  
Application No. A 1171/2001, filed July 26, 2001, thereby completing the  
requirements under 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,

**DYKEMA GOSSETT PLLC**

Richard H. Tushin  
Registration No. 27,297  
Third Floor West, Franklin Square  
1300 I Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3306  
(202) 906-8680





**ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT**  
A-1014 WIEN, KOHLMARKT 8 – 10

Schriftengebühr € 65,00



Aktenzeichen **A 1171/2001**

Das Österreichische Patentamt bestätigt, dass

**die Firma AVL LIST GMBH**  
**in A-8020 Graz, Hans-List-Platz 1**  
**(Steiermark),**

am **26. Juli 2001** eine Patentanmeldung betreffend

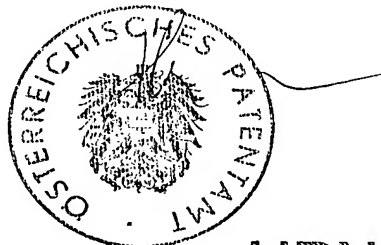
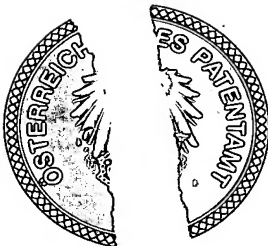
**"Piezoelektrisches Einkristallelement",**

überreicht hat und dass die beigeheftete Beschreibung samt Zeichnungen mit der ursprünglichen, zugleich mit dieser Patentanmeldung überreichten Beschreibung samt Zeichnungen übereinstimmt.

Österreichisches Patentamt  
Wien, am 23. Jänner 2002

Der Präsident:

i. A.



**HANCIR**  
Fachoberinspektor

ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT  
Verwaltungsstellen-Direktion

€ 15,- (S<sup>1</sup> 206,40)

Kanzleigebühr bezahlt.

Balaam

A1171/2001

PATENTANWALT Dipl. Ing. Mag.  
MICHAEL BABELUK  
1150 WIEN Mariahilfer Gürtel 39/17

001388

54690

(51) Int. Cl.:

Urtext

AT PATENTSCHRIFT

(11) NR.

(73) Patentinhaber:

AVL LIST GMBH  
Graz (AT)

(54) Gegenstand:

Piezoelektrisches Einkristall-  
element

(61) Zusatz zu Patent Nr.:

(62) Ausscheidung aus:

(22)(21) Angemeldet am:

2001 07 26

(30) Priorität:

(42) Beginn der Patentdauer:

(45) Ausgegeben am:

(72) Erfinder:

(60) Abhängigkeit:

(56) Entgegenhaltungen:

54690

Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Einkristallelement, welches an zumindest einer Oberfläche oder an gegenüberliegenden Oberflächen Anregungselektroden aufweist und zu einer Dickenscherschwingung anregbar ist sowie unterschiedliche Anwendungen und ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen piezoelektrischen Einkristallelementes bzw. Resonatorelementes.

Die Resonanzfrequenz eines piezoelektrischen Resonators ist neben den effektiv wirkenden Materialkonstanten und den physikalischen Abmessungen maßgeblich von der Wechselwirkung mit seiner Umgebung (z.B.: Druck, Temperatur, Massenbeladung) abhängig. Daraus ergeben sich in natürlicher Weise zwei grundsätzlich unterschiedliche Anwendungsbereiche. Zum Einen werden piezoelektrische Resonatoren als Frequenznormal verwendet, wobei sich der Resonator üblicherweise im Rückkopplungsweig eines Oszillators befindet und dadurch die Oszillatorfrequenz in der Nähe der Resonanzfrequenz stabilisiert wird. Bei dieser Anwendung werden die Einflüsse der Umgebung auf die Resonanzfrequenz durch hermetisch dichte Gehäuse, welche entweder mit Schutzgas gefüllt oder evakuiert sind möglichst konstant gehalten. Zum Anderen werden piezoelektrische Resonatoren als Sensorelement verwendet, wobei aus den gemessenen Änderungen der Resonanzeigenschaften auf die physikalischen oder chemischen Eigenschaften bzw. deren zeitliche Änderung der Umgebung Rückschlüsse gezogen werden. In beiden Anwendungsbereichen ist eine möglichst hohe Schwingungsgüte der betreffenden Resonanzfrequenz erwünscht, um einerseits eine besonders hohe Kurzzeitstabilität und andererseits eine besonders hohe Messauflösung bzw. Messempfindlichkeit zu erreichen.

Definition der Güte  $Q$ :

$$Q = \frac{f_m}{2} \frac{d\varphi}{df} \bigg|_{f=f_m} \quad (\text{Gl. 1})$$

mit  $\varphi$  ...Phase  
 $f$ ....Frequenz  
 $f_m$ ....Frequenz bei maximaler Admittanz

wobei  $\varphi$  in Radiant und  $f, f_m$  in Hz einzusetzen sind.

Die Güte kann durch Messen der Änderung der Phase  $\Delta\varphi$  welche in einem Frequenzintervall  $\Delta f$  in der unmittelbaren Umgebung der maximalen Admittanz, z.B. mit einem Netzwerkanalysator gemessen werden. Nach diesem Verfahren wurden auch die Gütewerte, welche in Fig. 2 dargestellt sind bestimmt.

Der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{eff}$  für die Grundtonresonanzfrequenz bzw. Serienresonanzfrequenz  $f_s$  ist definiert durch:

$$k_{eff} = \sqrt{\frac{e_{eff}^2}{c_{eff}^D \varepsilon_{eff}^S}} \quad (Gl. 2)$$

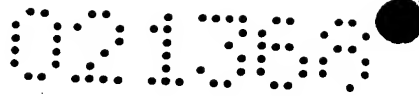
mit  $e_{eff}$  ...effektiv wirkendes piezoelektrisches Modul  
 $c_{eff}^D$  ...effektiv wirkende elastische Scherkonstante (D=constant)  
 $\varepsilon_{eff}^S$  ...effektiv wirkende Dielektrizitätskonstante (S=constant)  
 D, S..Dielektrische Verschiebung, Verzerrungstensor

Die effektiv wirkenden Materialkonstanten  $e_{eff}$ ,  $c_{eff}^D$  und  $\varepsilon_{eff}^S$  sind vom Schnittwinkel abhängig und können aus den Materialkonstanten des betreffenden Kristallmaterials berechnet werden (siehe beispielsweise S. Haussühl, Kristallphysik, Physik Verlag, ISBN 3-87664-587-5).

Der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{eff}$  kann zum Beispiel durch eine Netzwerkanalyse bestimmt werden. Dabei wird dem Resonanzverhalten des piezoelektrischen Resonators das Modell eines Serienresonanzkreises mit Parallelkapazität zugrundegelegt. Aus dem Abstand zwischen Serienresonanzfrequenz  $f_s \cong f_m$  (Definition siehe Fig. 1) und Parallelresonanzfrequenz  $f_p \cong f_n$  ( $f_n$ ....Frequenz bei minimaler Admittanz, siehe Fig. 1) ergibt sich der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{eff}$  mit:

$$k_{eff} = \sqrt{\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_p^2}} \quad (Gl. 3)$$

Alle angegebenen Werte für den effektiv wirkenden elektromechanischen Kopplungsfaktor  $k_{eff}$  beziehen sich auf die Grundtonresonanzfrequenz  $f_s$  des jeweiligen piezoelektrischen Kristallschnitt bzw. piezoelektrischen Resonators.



So ist zum Beispiel aus Warner A.W., „Design and Performance of Ultraprecise 2.5-mc Quartz Crystal Units“, Bell Sys. Tech. J., Sept., 1960, pp. 1193-1215, bekannt, dass ein Quarz AT-Schnitt Resonator (effektiv wirkender elektromechanischer Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}} = 8 \% \dots 9 \%$ ), mit einem Durchmesser von 30 mm, plankonvexen Oberflächen, mit Gold-Elektroden, bei Raumtemperatur und in Vakuum ( $p=1,33 \cdot 10^{-9}$  bar), im 5. Oberton bei einer Resonanzfrequenz von 2,5 MHz, eine Güte  $Q$  von 5 bis 6 Millionen erreicht. Ebenso ist ein inverser Zusammenhang zwischen Resonanzfrequenz  $f_s$  (Definition siehe Fig. 1) und maximal erreichbarer Güte  $Q$  festgestellt worden. Für einen Quarz AT-Schnitt Resonator lässt sich dieser empirisch gefundene Zusammenhang durch die Angabe des Produktes von  $Q \cdot f_s = 16 \cdot 10^6$  MHz ausdrücken.

Weiters ist aus Ch. Longet, G. Robichon, EFTF, 1995, pp. 141-145, eine elektrodenlose Anordnung bekannt, mit welcher - basierend auf einen Quarz BT-Schnitt Resonator - ein Produkt  $Q \cdot f_s = 30 \cdot 10^6$  MHz erreicht wird. Dabei befinden sich die Anregungselektroden nicht direkt auf den Resonatoroberflächen, sondern in einem Abstand von einigen  $\mu\text{m}$  (sogenannte PVA-Resonatoren). Derartige Quarzresonatoren, welche z.B. aus der US-A 4,135,108 bekannt sind, bedürfen einer aufwendigen Herstellung und weisen große Baugrößen auf.

Ebenso ist aus R.C. Smythe, R.C. Helmbold, G.E. Hague, & K.A. Snow, Joint Meeting EFTF - IEEE IFCS, 1999, pp. 816-820, bekannt, dass ein Y-Schnitt Langanit (LGT) Resonator (effektiv wirkender elektromechanischer Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}} > 10 \%$ ) mit einem Durchmesser von 14 mm, plan-konvexen Oberflächen, Gold-Elektroden, bei Raumtemperatur und in Vakuum ( $p=1,33 \cdot 10^{-7}$  bar), im 7. Oberton bei einer Resonanzfrequenz von 14,058 MHz, eine Güte  $Q$  von 1,8 Millionen erreicht. Das entspricht einem Produkt  $Q \cdot f_s = 25,6 \cdot 10^6$  MHz.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen piezoelektrischen Einkristall bzw. ein Verfahren zu dessen Herstellung vorzuschlagen, bei welchem die Güte  $Q$  - insbesondere bei Vakuumdrücken unter 10 mbar - besonders hohe Werte annimmt.

Die vorliegende Erfindung löst diese Aufgabe dadurch dass das Einkristallelement einen Kristallschnitt mit einer anregbaren Grundtonresonanzfrequenz im Dicken-schermode aufweist, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}}$  zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt.

Vorteilhafterweise werden Kristallmaterialien mit einer effektiv wirkenden elastischen Scherkonstante  $c_{\text{eff}}^D$  in einem Bereich von 10 bis 100  $\text{GNm}^{-2}$  verwendet. Von Vorteil ist es weiters, Kristallmaterialien zu wählen, bei welchen für den ausgewählten Kristallschnitt keine Hysterese zwischen dem über die Anregungs-



elektroden erzeugten elektrischen Feld  $E$  und dem Feld der dielektrischen Verschiebung  $D$  entsteht.

Es hat sich überraschend herausgestellt, dass beispielsweise ein piezoelektrischer Resonator auf der Basis von Galliumorthophosphat ( $\text{GaPO}_4$ ), mit einem Durchmesser von 7,4 mm und Gold-Elektroden, welcher einen relativ geringen, effektiv wirkenden elektromechanischen Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}}$  von ca. 0,2 % bis 0,4 % aufweist, bei einem Absolutdruck von  $5 \cdot 10^{-5}$  bar einen sehr hohen Gütewert aufweist. Verglichen mit einem Quarzresonator ist der  $\text{GaPO}_4$ -Resonator wesentlich kompakter (Durchmesser von z.B. 7,4 mm) und weist bei einer Dicke von 0,2 mm (bei einer Resonanzfrequenz von ca. 10 MHz) ein besseres Durchmesser/Dicken-Verhältnis auf.

Insbesondere wenn das Kristallelement nach dem Aufbringung der Anregungselektroden einer thermischen Behandlung über 150 °C ausgesetzt wird, können Gütewerte von über 8,7 Millionen bei einer Resonanzfrequenz  $f_s$  von ca. 9,816 MHz im Grundton erreicht werden. Daraus ergibt sich für das Produkt  $Q \cdot f_s = 85 \cdot 10^6$  MHz. Weiters ist es auch möglich, das Kristallelement während der Aufbringung der Anregungselektroden auf Temperaturen von über 150 °C zu erwärmen. Die Aufbringung der Elektroden kann durch ein CVD-Verfahren (chemical vapour deposition) oder ein PVD-Verfahren (physical vapour deposition), vorzugsweise durch Sputtern, erfolgen.

Besonders vorteilhaft ist es, den piezoelektrischen Resonator nach dem Aufbringen der Elektroden für mehrere Stunden auf Temperaturen von über 150 °C zu erwärmen. So zeigt zum Beispiel ein für ca. 10 Stunden auf ca. 350 °C getemperter  $\text{GaPO}_4$ -Resonator ( $f_s = 5,903$  MHz) einen Güteanstieg von etwa 350.000 unter Normaldruck auf ca. 13 Millionen bei einem Absolutdruck  $p = 40$  µbar. Hingegen erreicht ein nicht getemperter  $\text{GaPO}_4$  Resonator ( $f = 5,872$  MHz), welcher bei Normaldruck eine Güte von ca. 350.000 aufweist, bei einem Absolutdruck von 30 µbar eine Güte von ca. 1,75 Millionen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- Herstellen eines Kristallschnittes mit einer anregbaren Grundresonanzfrequenz, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}}$  zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt; sowie
- Aufbringen von Anregungselektroden auf zumindest einer Oberfläche oder auf gegenüberliegenden Oberflächen des Einkristallelementes; sowie ggf.

- Tempern des Kristallschnittes bei Temperaturen von über 150°C

Ein weiteres Kennzeichen der Erfindung ist dadurch gegeben, dass der Frequenzabstand zur nächstgelegenen, anregbaren Nebenresonanzfrequenz  $>80$  kHz, vorzugsweise  $>100$  kHz. Darüber hinaus soll die maximale Admittanz der harmonischen Oberschwingungen nur  $<10\%$ , vorzugsweise  $<5\%$  relativ zur Grundtonresonanzfrequenz erreichen, d.h. der  $n$ -te Oberton ( $n=3,5,\dots$ ) soll nicht mehr deutlich anregbar sein.

Das thermische Ausdehnungsverhalten in der Ebene des Kristallschnittes ist beispielsweise bei Kristallen der Punktgruppe 32 durch zwei voneinander linear unabhängige Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{11} = \alpha_{22}$  und  $\alpha_{33}$  vollständig beschreibbar. Als besonders vorteilhaft hat sich herausgestellt, einen Kristallschnitt zu wählen, bei welchem die effektiv wirkenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten ( $\alpha'_{11}$  und  $\alpha'_{33}$ ) in der Ebene des Kristallschnittes lediglich um einen Faktor  $<1,5$  voneinander abweichen.

Als weiteres Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, einen Kristallschnitt auszuwählen, bei welchem der Temperaturgang der Resonanzfrequenz der anzuregenden Dickenscherschwingung im Anwendungstemperaturbereich möglichst gering ist. Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn der lineare Temperaturkoeffizient der Grundtonresonanzfrequenz an zumindest einer Stelle im Bereich der Betriebstemperatur des piezoelektrischen Einkristallelementes, vorzugsweise im Bereich zwischen 10°C und 100°C, Null ist (temperaturkompensierter Schnitt). Dazu muss der Temperaturgang der Resonanzfrequenz einen parabolischen oder einen kubischen Frequenzgang aufweisen, womit der lineare Temperaturkoeffizient innerhalb des Anwendungstemperaturbereich Null wird.

Gemäß einer ersten Ausführungsvariante der Erfindung gehört das Kristallmaterial der kristallographischen Punktgruppe 32 an, wobei das Kristallelement vorzugsweise aus quarzhomöotypem Galliumorthophosphat ( $\text{GaPO}_4$ ) besteht.

Eine Kombination der besonders günstigen Eigenschaften wie extrem hohe Gütewerte, Temperaturkompensation der Resonanzfrequenz und großem Abstand zwischen Grundtonresonanzfrequenz und deren Nebenmoden kann durch die Anwendung eines piezoelektrischen Resonator auf der Basis von  $\text{GaPO}_4$  erreicht werden, wobei ein einfach rotierten Y-Schnitt verwendet wird und sich der Schnittwinkel  $\Phi$  in einem Bereich zwischen  $-80^\circ$  und  $-88^\circ$ , insbesondere zwischen  $-82^\circ$  und  $-86^\circ$  befindet.

Die Angabe des Vorzeichens der Schnittwinkel  $\Phi$  bezüglich deren Drehrichtung um die kristallografischen Achsen erfolgen nach dem „IEEE Standard on Piezoelectricity; ANSI/IEEE Std. 176-1987.

Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, piezoelektrische Kristallelemente zu verwenden, welche der kristallografischen Raumgruppe P321 angehören, welche z.B. in „INTERNATIONAL TABLES FOR X-RAY CRYSTALLOGRAPHY, The Kynoch Press, 1969, pp. 255, erwähnt wird. Kristalle dieser Raumgruppe weisen eine  $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$  - analoge Kristallstruktur auf wie z.B. Languisit ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ), Langanit ( $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_{14}$ ), Langatit ( $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$ ) oder Strontium-Gallium-Germanat ( $\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ ) Einkristalle. Weitere Beispiele sind z.B. aus B.V.Mill, Yu.V.Pisarevsky, E.L.Belokoneva, „Synthesis, Growth and some Properties of Single Crystals with the  $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$  Structure“, Joint Meeting EFTF - IEEE IFCS, 1999, pp. 829-834, angeführt.

Insbesondere bei Languisit ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) Einkristallen ist durch die Wahl eines einfach rotierten Y-Schnittes, wobei der Drehwinkel  $\Phi$  zwischen  $-55^\circ$  und  $-85^\circ$ , vorzugsweise zwischen  $-60^\circ$  und  $-70^\circ$  liegt, eine Kombination von niedriger Kopplung und Temperaturkompensation erreichbar.

Elektrische Vakuummeter messen den Druck indirekt über die Teilchenzahldichte welcher bei gegebenem Druck von der Gasart abhängig ist. Die Druckskalen dieser Geräte sind üblicherweise auf Stickstoffdrücke bezogen. Wenn also der Druck eines anderen Gas(-gemisches) bestimmt werden soll, muss der angezeigte Druck mit einem Faktor multipliziert werden. Zusätzlich sind diese Faktoren bei Wärmeleitungs-Vakuummetern (Pirani) auch druckabhängig.

Aufgrund der besonders empfindlichen Druckabhängigkeit der Güte, insbesondere bei Vakuumdrücken unter 10 mbar, sind daher die erfindungsgemäßen Kristallelemente hervorragend zur Druckmessung zu verwenden, wobei eine Druckmessung unabhängig von der Gasart bzw. Gaszusammensetzung möglich ist.

Aufgrund der möglichen Kombination von Temperaturkompensation der Resonanzfrequenz und geringer elektromechanischer Kopplung, beispielsweise bei  $\text{GaPO}_4$  und Languisit, kann das erfindungsgemäße Kristallelement als frequenzbestimmendes Bauelement (Frequenznormal) in ofenkontrollierten bzw. thermostatisierten Oszillatoren verwendet werden.

Eine weitere vorteilhafte Anwendung besteht darin, das erfindungsgemäße Kristallelement im Vakuum ( $p < 10$  mbar) als Mikrowaagen-Sensorelement zu verwenden, bei welchem eine extrem hohe Empfindlichkeit gegenüber Massenbelastung erreicht werden kann.

Schließlich kann das erfindungsgemäße Kristallelement als elektronisches Filter mit besonders hoher Flankensteilheit eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung wird im folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen die Fig. 1 ein Diagramm der Admittanz, bei welchem auf der Abszisse die Konduktanz und auf der Ordinate die Suszeptanz aufgetragen ist, Fig. 2 ein Diagramm der Güte  $Q$  in Abhängigkeit vom Druck für  $\text{GaPO}_4$  sowie Fig. 3 den ersten Temperaturkoeffizienten der Resonanzfrequenz eines  $\text{GaPO}_4$ -Dickenschers-Resonators in Abhängigkeit vom Schnittwinkel  $\Phi$ .

Fig. 1 zeigt den Ortskreis der Admittanz, welcher für die Beschreibung des elektrischen Verhaltens eines piezoelektrischen Resonators verwendet wird. Ebenso sind die relevanten Definitionen der Serienresonanzfrequenz  $f_s$ , der Frequenz bei maximaler Admittanz  $f_m$ , der Parallelresonanzfrequenz  $f_p$  sowie der Frequenz bei minimaler Admittanz  $f_n$  ersichtlich. Der Abstand des Mittelpunktes des Ortskreises von der Abszisse ist proportional der Parallelkapazität  $C_0$ , welche durch den Resonator zusammen mit den aufgebrachten Anregungselektroden gebildet wird.

Fig. 2 zeigt beispielsweise den Güteanstieg eines  $\text{GaPO}_4$  Resonators (einfach gedrehter Y-Schnitt mit  $k_{\text{eff}}$  zwischen 0,2 und 0,4 %), welcher nach dem Aufbringen der Anregungselektroden getempert wurde im Vergleich zu einem nicht getemperten Resonator (Grundtonresonanzfrequenz ca. 6MHz). Bei Normaldruck liegen die Gütewerte in beiden Fällen etwa auf dem gleichen, hohen Niveau. Während der Druckreduktion steigen die Gütewerte des getemperten Resonators wesentlich stärker an, als im Falle des ungetemperten Resonators.

Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit des linearen Temperaturkoeffizienten (1.TCF) der Resonanzfrequenz eines einfach rotierten Y-Schnittes eines  $\text{GaPO}_4$  Dickenschers-Resonators (C-Mode) in Abhängigkeit des Drehwinkels  $\Phi$  bei einer Temperatur von ca. 85 °C.

### PATENTANSPRÜCHE


1. Piezoelektrisches Einkristallelement, welches an zumindest einer Oberfläche oder an gegenüberliegenden Oberflächen Anregungselektroden aufweist und zu einer Dickenscherschwingung anregbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkristallelement einen Kristallschnitt mit einer anregbaren Grundtonresonanzfrequenz im Dickenschermode aufweist, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}}$  zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt.
2. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Frequenzabstand zur nächstgelegenen, anregbaren Nebenresonanzfrequenz  $>80$  kHz, vorzugsweise  $>100$  kHz, ist.
3. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die maximale Admittanz der harmonischen Oberschwingungen nur  $<10$  %, vorzugsweise  $<5$  % relativ zur Grundtonresonanzfrequenz erreicht.
4. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkristallelement bei Temperaturen über  $150^{\circ}\text{C}$  getempert ist.
5. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die effektiv wirkenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten in der Ebene des Kristallschnittes lediglich um einen Faktor  $<1,5$  voneinander abweichen.
6. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der lineare Temperaturkoeffizient der Grundtonresonanzfrequenz an zumindest einer Stelle im Bereich der Betriebstemperatur des piezoelektrischen Einkristallelementes, vorzugsweise im Bereich zwischen  $10^{\circ}\text{C}$  und  $100^{\circ}\text{C}$ , Null ist.
7. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkristallelement aus einem Kristall der kristallographischen Punktgruppe 32 besteht.
8. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement aus quarzhomöotypem Galliumorthophosphat ( $\text{GaPO}_4$ ) besteht.

9. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement ein einfach rotierter Y-Schnitt ist, wobei der Drehwinkel  $\Phi$  zwischen  $-80^\circ$  und  $-88^\circ$ , vorzugsweise zwischen  $-82^\circ$  und  $-86^\circ$  liegt.
10. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement aus Largasite ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ), Langanit ( $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_{14}$ ) oder Langatit ( $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$ ) besteht.
11. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement ein einfach rotierter Y-Schnitt aus Largasite ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) ist, wobei der Drehwinkel  $\Phi$  zwischen  $-55^\circ$  und  $-85^\circ$ , vorzugsweise zwischen  $-60^\circ$  und  $-70^\circ$  liegt.
12. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkristallelement aus einem Kristall der kristallographischen Raumgruppe P321 besteht.
13. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement aus Strontium-Gallium-Germanat ( $\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ ) besteht.
14. Verfahren zur Herstellung eines zu einer Dickenserschwingung anregbaren piezoelektrischen Einkristallelementes, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
  - Herstellen eines Kristallschnittes mit einer anregbaren Grundresonanzfrequenz, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}}$  zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt; sowie
  - Aufbringen von Anregungselektroden auf zumindest einer Oberfläche oder auf gegenüberliegenden Oberflächen des Einkristallelementes.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement während der Aufbringung der Anregungselektroden auf Temperaturen von über  $150^\circ\text{C}$  erwärmt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement nach dem Aufbringung der Anregungselektroden einer thermischen Behandlung über  $150^\circ\text{C}$  ausgesetzt wird.
17. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 16, als Druckmesselement, insbesondere bei Vakuumdrücken  $< 10$  mbar.

18. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 16, als frequenzbestimmendes Bauelement in ofenkontrollierten bzw. thermostatisierten Oszillatoren.
19. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 16, als Mikrowaagen-Sensorelement, insbesondere bei Vakuumdrücken <10 mbar.
20. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 16, als elektronisches Filter mit hoher Flankensteilheit.

2001-07-26

Lu/



Patentanwalt

Dipl.-Ing. Mag. Michael Babeluk

A-1150 Wien, Mariahilfer Gürtel 39/17

Tel.: (+43 1) 892 89 33-0 Fax: (+43 1) 892 89 333

e-mail: [patent@babeluk.at](mailto:patent@babeluk.at)

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Einkristallelement, welches an zumindest einer Oberfläche oder an gegenüberliegenden Oberflächen Anregungselektroden aufweist und zu einer Dickenscherschwingung anregbar ist. Erfindungsgemäß weist das Einkristallelement einen Kristallschnitt mit einer anregbaren Grundtonresonanzfrequenz im Dickenschermode auf, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor  $k_{\text{eff}}$  zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt. Damit lassen sich Resonatoren mit einer hohen Schwingungsgüte herstellen.

Fig. 2



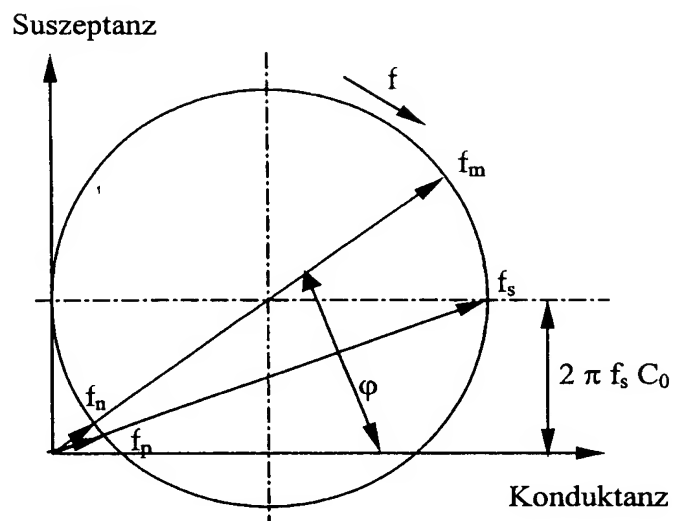


Fig. 1

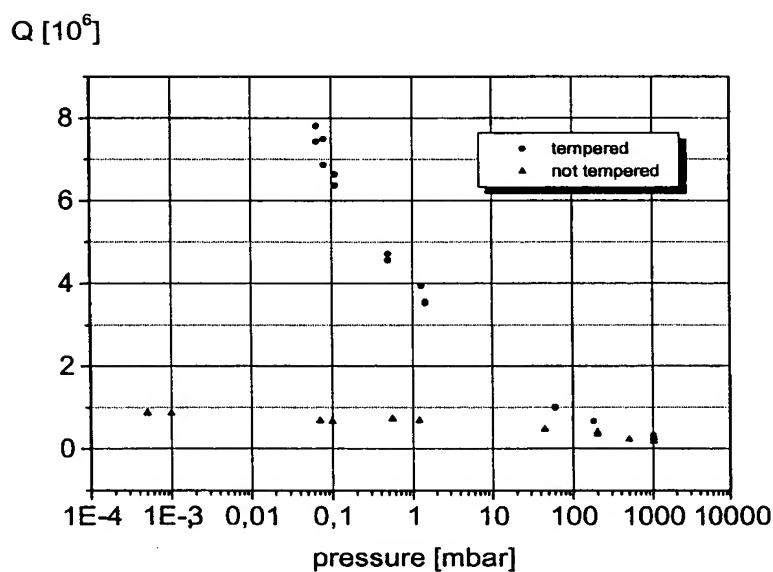


Fig. 2

A1171/2001

Urtext

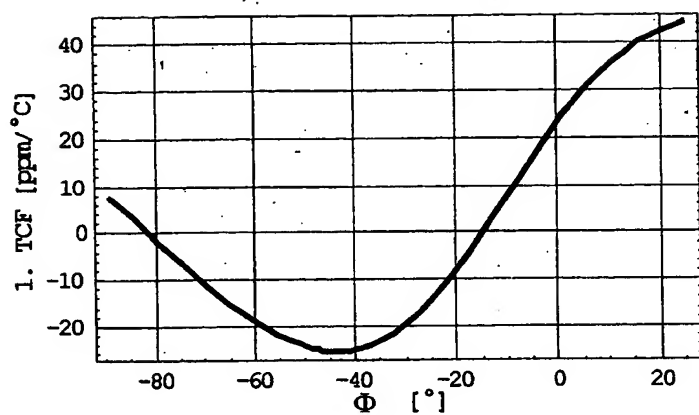


Fig. 3